

屏東縣第 65 屆中小學科學展覽會 作品說明書

科 別：物理科

組 別：國中組

作品名稱：電磁砲與升壓電路

關 鍵 詞：電感、電容、IC 555

編號：B2023

摘要

本研究探討如何利用線圈及電容製作了電磁砲。為了給耐電壓35V的電容充飽電，利用電感及開關成功製成BOOST升壓電路，並且利用IC555的PWM電路代替BOOST升壓電路中的開關，成功的將2顆 3.7V 18650 鋰電池升壓給 10000uf 35V 電容充飽電。

壹、研究動機

老師曾經講到電生磁、磁生電的應用，其中一項電磁砲引起我們的興趣，於是我們開啟了電磁砲的研究。我們利用線圈製作了電磁砲，但如何讓線圈瞬間產生強大磁力並將鐵釘子彈吸引並發射出去？我們利用電容可以瞬間放電讓線圈產生大電流，電流流經線圈產生磁場，順利將鐵釘子彈發射出去，只可惜威力不大。於是我們去電子材料行尋找更大的電容，找到了 10000uf 35V 電容。我們的目標是要用2顆 3.7V 18650 鋰電池將 10000uf 35V 電容充飽電。於是上網搜尋升壓電路，找到了BOOST升壓電路。在老師的指導下，我們利用電感、IC555製作的PWM電路成功的完成了升壓電路，也成功的將 10000uf 35V 電容充飽到 30V，成功的將電磁砲的威力增大，完成電磁砲的製作。

貳、研究目的

- 一、利用線圈及電容製作電磁砲。
- 二、BOOST升壓電路的研究。
- 三、利用 IC 555 製作PWM電路。
- 四、用2顆 18650 鋰電池經由升壓電路將 10000uf 35V 電容充飽電。

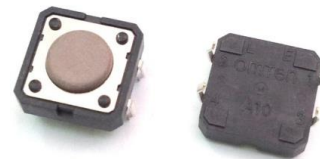
參、研究設備及器材



漆包線



電解電容



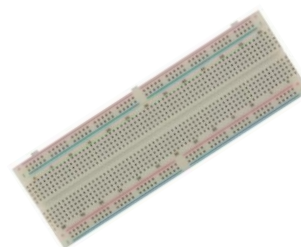
按壓開關



陶磁電容



三用電表



麵包板



18650 鋰電池



鐵釘



電感



IC 555



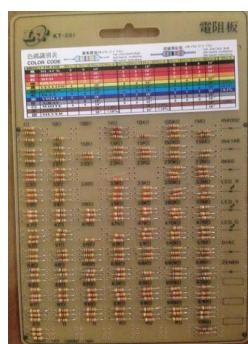
可變電阻



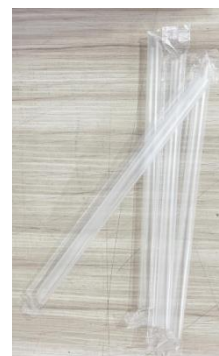
NPN 電晶體 13005



整流二極體 IN4001



電阻



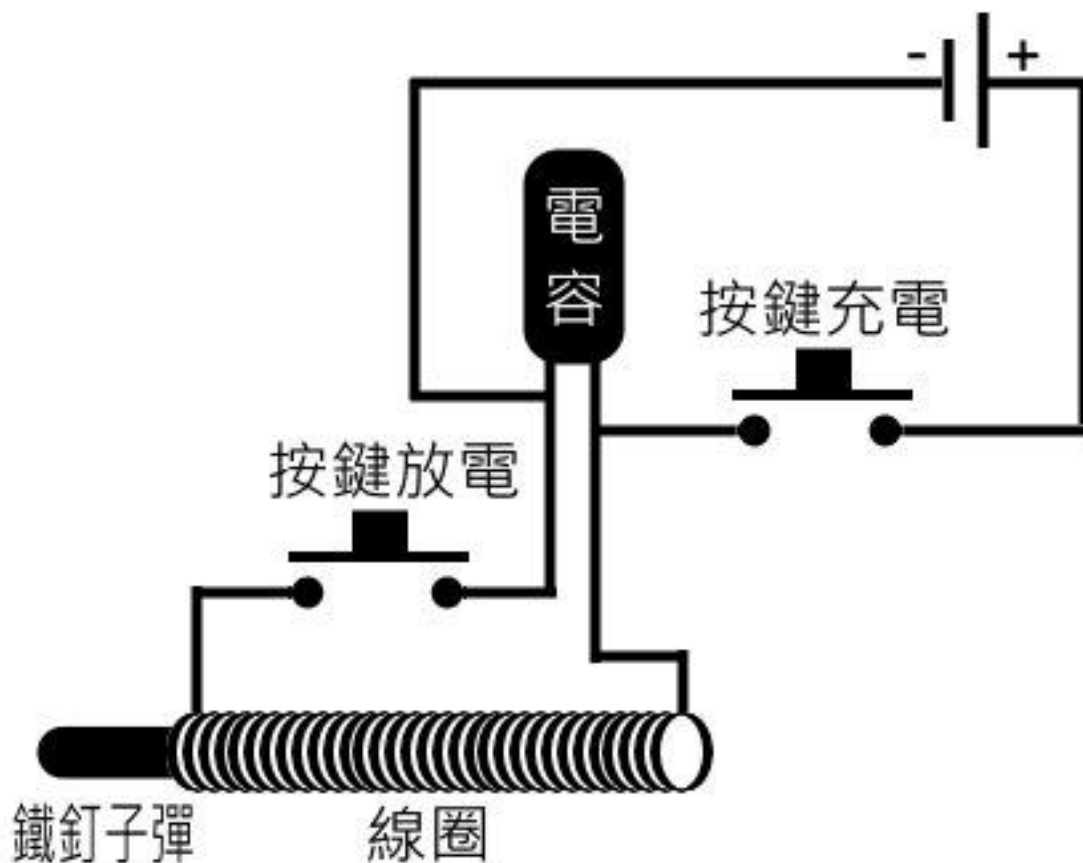
吸管

肆、研究過程及方法

一、電磁砲基本電路

電容特性：電解電容有正負極，陶磁電容則沒有正負極之分。電解電容容量較大，但耐電壓較小，陶磁電容容量較小，但耐電壓較大。如果將電容直接接上直流電正負極，則電容電壓瞬間可以上升到直流電電壓。反之，將電容接腳短路，則可以瞬間放電，產生大電流。

按鍵充電，電容充電，電容充到直流電電壓。按鍵放電，利用電容瞬間放電產生強大電流經過線圈產生磁場，將鐵釘子彈吸引後射出。

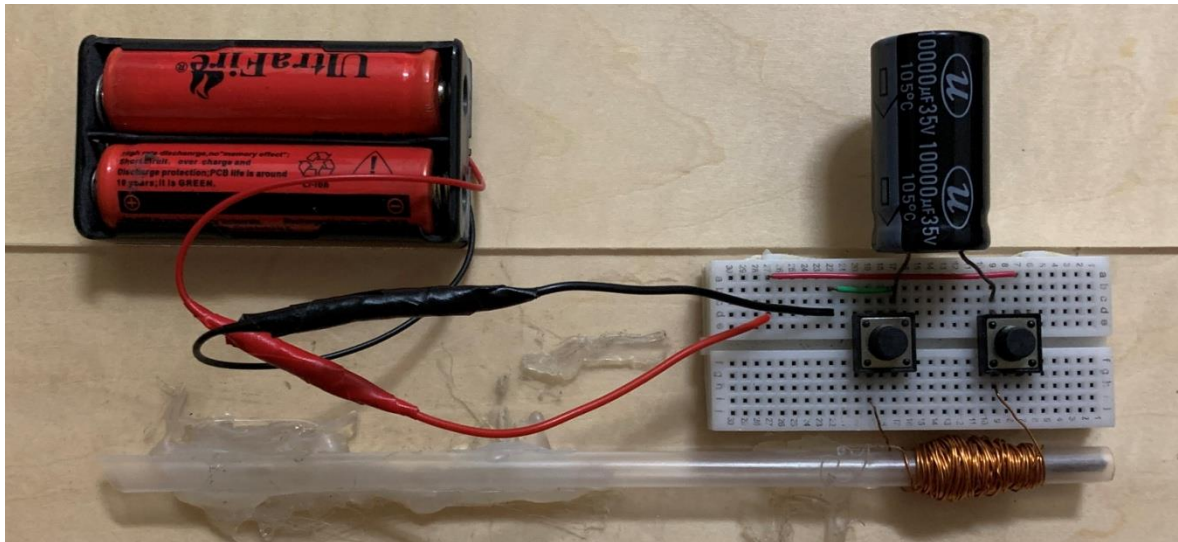


磁場大小由電流及線圈數決定，電流愈大、線圈數愈多，產生磁場也愈大
電流流經線圈，線圈會產生阻抗，線圈數愈多，阻抗愈大，電流變小，放電時間增加

電容大小及線圈數決定電流大小及放電時間

鐵釘子彈發射速度由線圈磁場大小及放電時間決定

放電時間太長會導致鐵釘子彈發射後又被吸回來向後發射



二、尋找如何將電容充電？

電容愈大，放電產生的瞬間電流愈大，磁場愈大。所以我們要找一顆大的電容。我們找到 10000uf 35V 電解電容，要將電容完全充飽電，需要將電壓提升到 35V，我們想到以下方法：

1、準備 20 顆 1.5V 電池 或 8顆 3.7V 18650 鋰電池對電容充電。

要準備好多電池，不符合經濟效益。

2、利用電源供應器將 110V 交流電 轉成 35V 直流電 對電容充電。

利用電源供應器是一個不錯的選譯，但電源供應器需要接市電且體積龐大，不適合攜帶，而且要用市電也不方便。

3、尋找變壓器 110V 交流電 轉 35V 直流電 對電容充電。

市面上找不到適合的變應器，而且要用市電也不方便。

4、自製升壓電路，將 2顆 3.7V 鋰電池 轉成 35V 對電解電容充電。

為了攜帶方便，利用2顆 3.7V 18650 鋰電池製作升壓電路。市面上有升壓模組，但我們想要了解升壓電路的原理，所以我們朝向研究升壓電路的方向前進。

三、電容與電感

升壓電路中使用到電感，所以我們研究電容與電感的差異

電容：

電容可以比擬成一個水桶

電容單位法拉(f)

電容量 (C)：水桶直徑

儲存的電量 (Q)：儲存水量

裡面的電壓 (V)：水面高度

$$Q = VC$$

電位能電容器裡面儲存的能量為每一個電荷上的電壓，相當於水桶所儲存的位能。

$$W = 1/2 QV = 1/2 CV^2$$

電感：

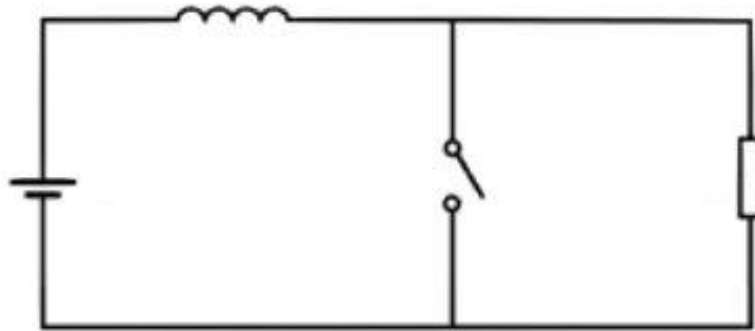
電感器又稱為線圈，在電路中常以L表示，電感器的單位以亨利(H)來表示。

在使用上常會以 $\mu H(10^{-6}H)$ 、 $nH(10^{-9})$ 來表示較低的電感值。

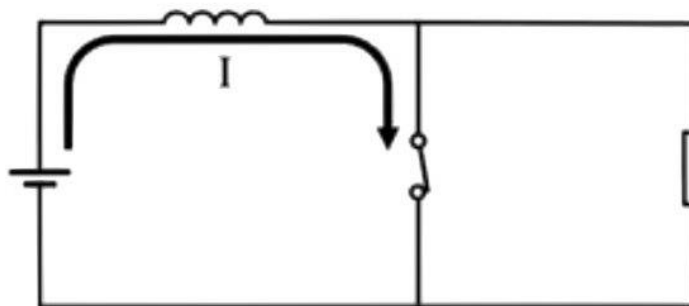
電感線圈也是一個儲能元件，它以磁的形式儲存電能，儲存的電能大小可用下式表示： $W = 1/2 LI^2$

	充電過程	放電過程
電容	儲存電壓 (電能)	釋放電壓 (電能) 放電與充電路徑 相反
電感	儲存電流 (磁能)	釋放電流 (磁能) 放電與充電路徑 相同

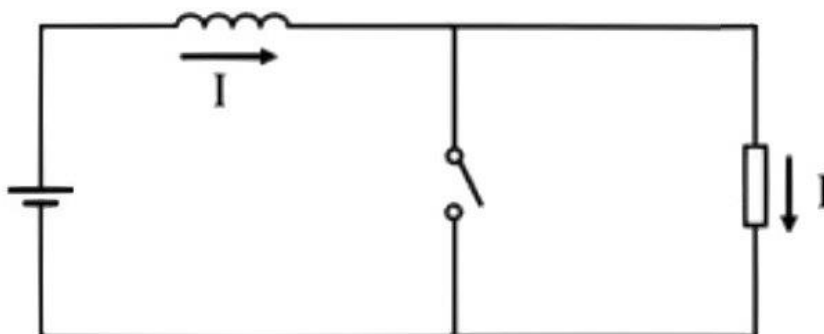
四、升壓電路原理研究：BOOST 電路



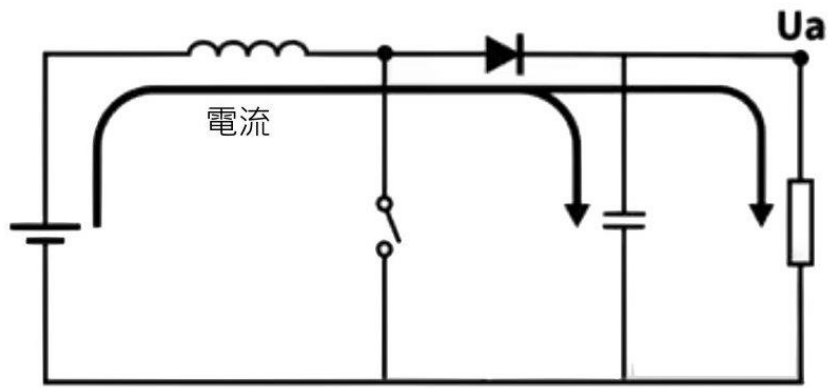
基本電子零件：電源、電感、開關、負載



當開關閉合時，電流電流電感，電感充電。電感達穩態後，電感變成短路。
電感短路時，電流太大，有危險性。

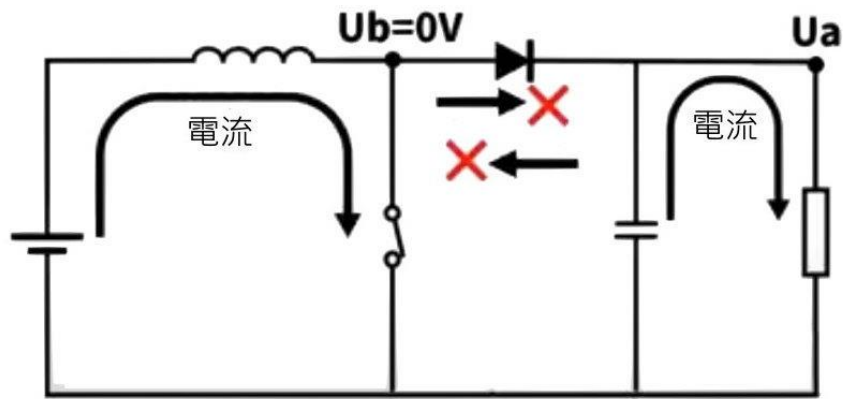


當開關打開時，電感放電，電流流經負載。

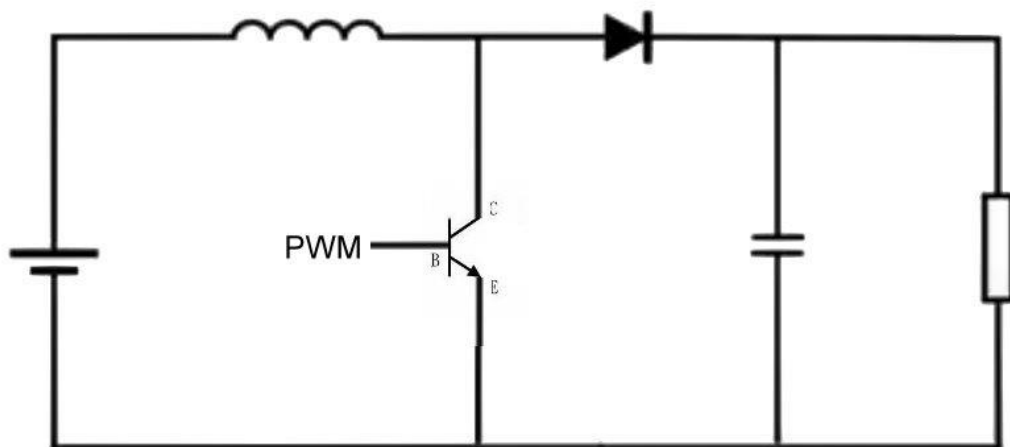


在負載處並聯陶磁電容，因陶磁電容耐電壓較大，做為穩壓。另加裝二極體，防止陶磁電容放電時電流回流至電感。

開關打開時，電感的電流同時流經陶磁電容充電及負載



當開關閉合時，電流流經電感充電，電感達穩態後，電感變成短路。此時陶磁電容開始放電，陶磁電容的電流流經負載。

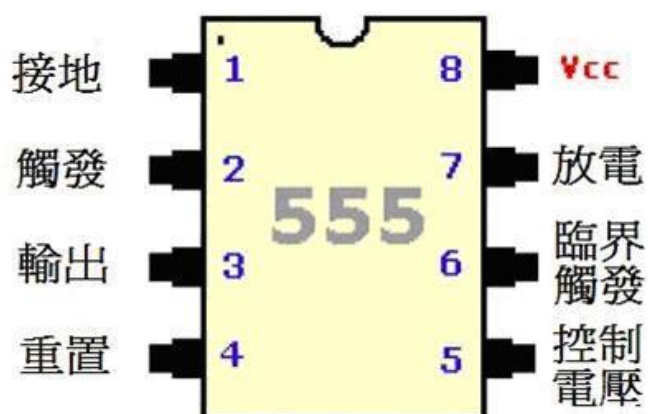


用電晶體CE代替開關，電晶體B極加上PWM電路，實現升壓電路。電晶體的CE極電流過大，CE極會形成開路，防止CE極短路發生。

五、IC 555 研究

我們想要了解 PWM 電路 Duty cycle 對升壓電路的影響，IC 555 可以輸出方波，再加上可變電阻及兩個整流二極體可以製作 PWM 電路

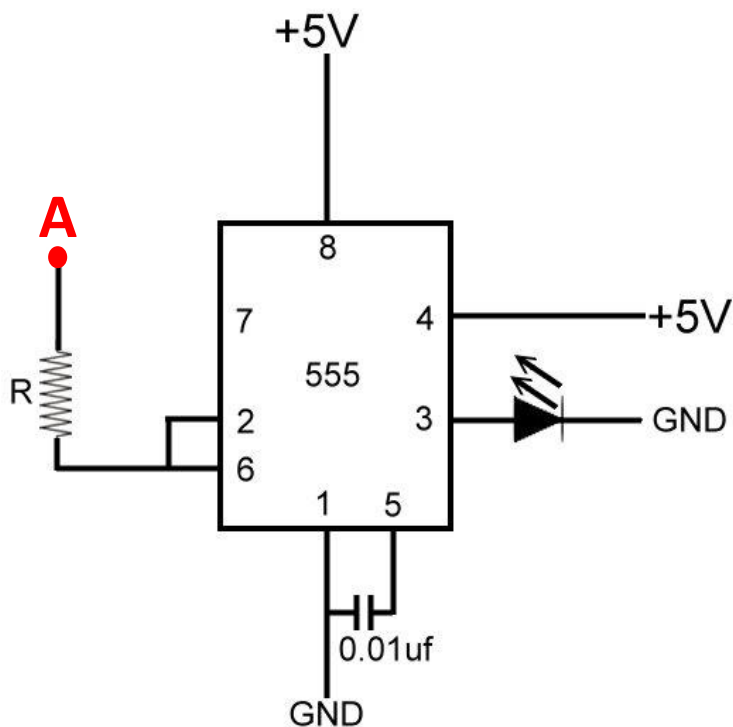
IC555 接腳介紹



- 1、Pin1 接地：接電源負極。
- 2、Pin2 觸發：當 Pin2 之電壓低於 $1/3V_{cc}$ 時，會令 Pin3 輸出高電位及 Pin7 對地開路。
- 3、Pin3 輸出：輸出腳，由 Pin2、4、6 控制其為高電位或低電位。
- 4、Pin4 重置：Pin4 之電壓小於 0.4V 時，Pin3 輸出為低電位、Pin7 對地短路。所以不使用 Pin4 時，應接於 1V 以上之電壓。
- 5、Pin5 控制電壓：Pin5 直接與比較器的參考電壓相通，允許由外界電路改變 Pin2、Pin6 之動作電壓。平時多接一個 $0.01\mu F$ 以上之電容到接地，以避免雜訊干擾。
- 6、Pin6 臨界：Pin6 之電壓高於 $2/3V_{cc}$ 時，會使 Pin3 輸出低電位、Pin7 對地短路。
- 7、Pin7 放電：與 Pin3 輸出同步動作。當 Pin3 輸出高電位時，Pin7 對地開路；Pin3 輸出低電位時，Pin7 對地短路。
- 8、Pin8(+Vcc)：電壓輸入，最大可至 15V。

Pin2 < $1/3V_{cc}$	Pin3 → HIGH	Pin7 對地開路
Pin6 > $2/3V_{cc}$	Pin3 → LOW	Pin7 對地短路

六、 2、6 接腳對 3 接腳的影響

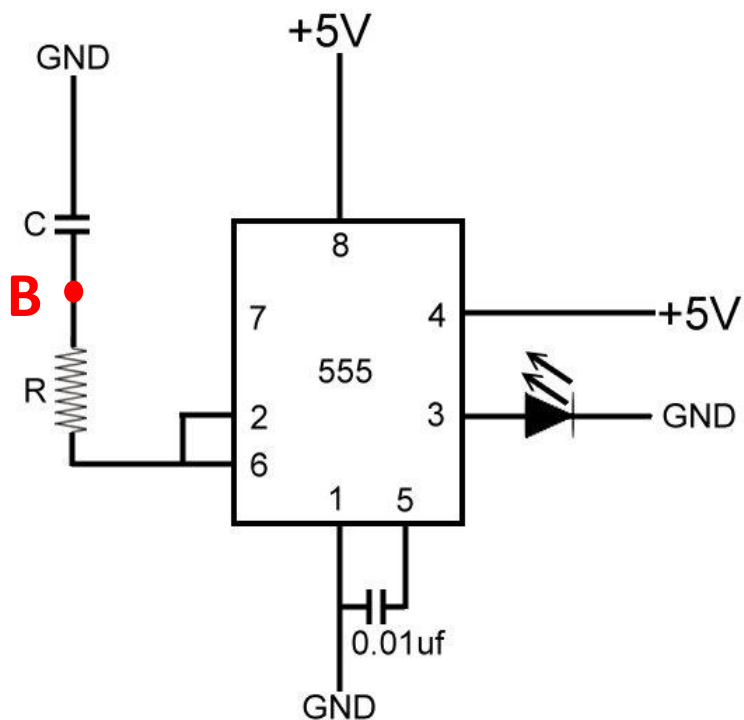


A點到2，6接腳的電流幾乎為0，電阻R沒有壓降，A點電壓等於2，6接腳電壓。

當A點空接，A點受雜訊干擾，2，6接腳高低電位變化，3接腳LED亮度一半

當A點為高電位，2，6接腳高電位，3接腳低電位，LED不亮

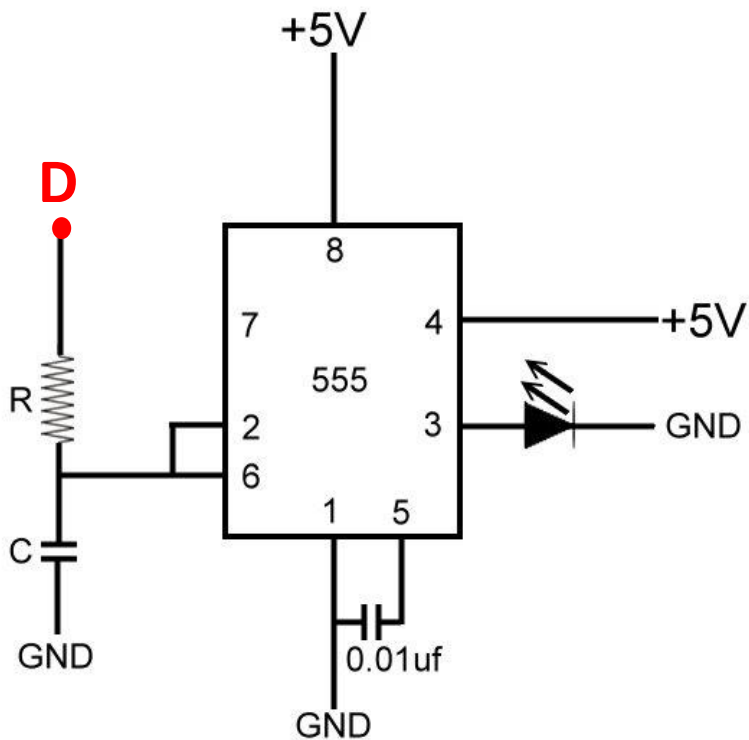
當A點為低電位，2，6接腳低電位，3接腳高電位，LED亮



當B點為高電位，電容C瞬間充飽電，2，6接腳高電位，3接腳低電位，LED不亮

當B點為低電位，電容C瞬間放電，2，6接腳低電位，3接腳高電位，LED亮

當B點沒有接高低電位時，電容C電位不變，2，6接腳電位不變，3接腳電位也不變



當D點為高電位，電流由D點流過電阻R對電容C慢慢充電，2，6接腳慢慢由低電位變成高電位，當電容C電位高於 $2/3 \times 5V$ 後，3接腳變成低電位，LED不亮。

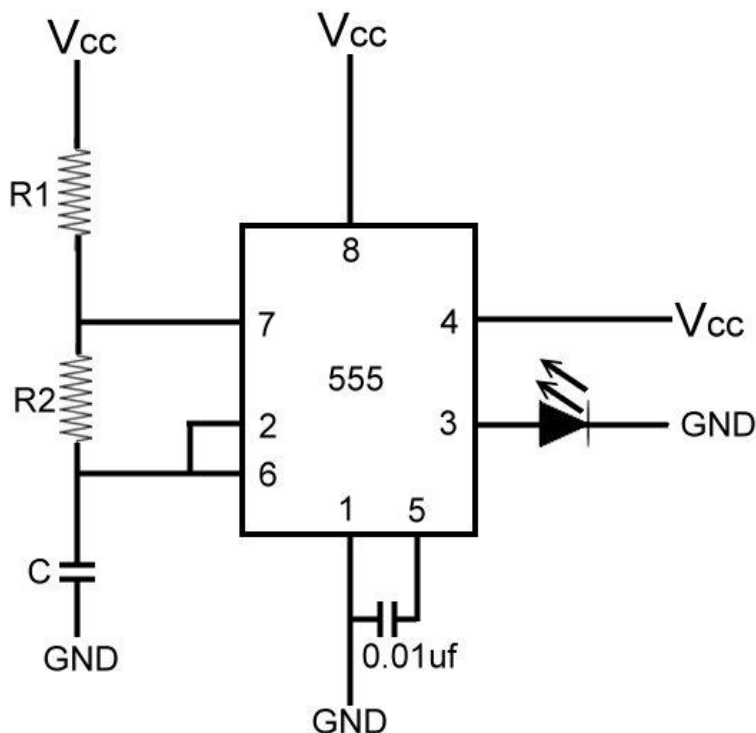
當D點為低電位，電流由電容C流過電阻R，電容C慢慢放電，2，6接腳慢慢由高電位變成低電位，當電容C電位低於 $1/3 \times 5V$ 後，3接腳變成高電位，LED亮。

當D點空接，電容C電位不變，2，6接腳電位不變，3接腳電位也不變。

LED閃爍頻率由電容C及電阻R決定。

電阻R愈小、電流也愈小，電容C充放電速度更快，頻率更快。電容C愈小，充放電速度也更快，頻率更快。

七、IC 555 基本振盪電路（方波）



- 1、電源接上後，電容 C 為低電位，第 7 腳對地開路， V_{CC} 經 R_1 、 R_2 對電容 C 充電，電容 C 電壓未達 $1/3V_{CC}$ 時，第 3 腳輸出電壓為“高電位”。
- 2、電容 C 電壓達到 $2/3V_{CC}$ 時，第 3 腳輸出“低電位”。第 7 腳對地短路，電容 C 經 R_2 至第 7 腳放電。
- 3、當電容 C 電壓下降至 $<1/3V_{CC}$ 時，第 3 腳輸出電壓為“高電位”，第 7 腳對地開路，電容 C 恢復充電。
- 4、充電週期 $T_H = 0.693(R_1 + R_2)C$ 。放電週期 $T_L = 0.693R_2C$ ，所以振盪週期為 $T = T_H + T_L$

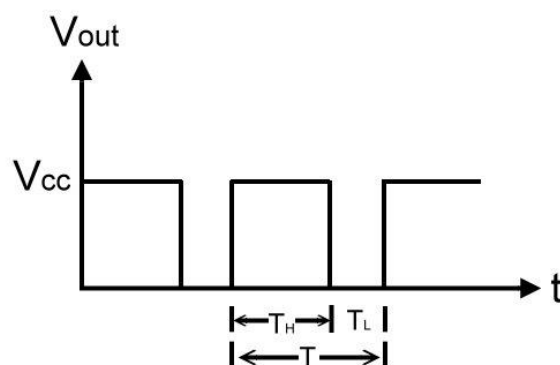
$$T_H = 0.693(R_1 + R_2)C$$

$$T_L = 0.693R_2C$$

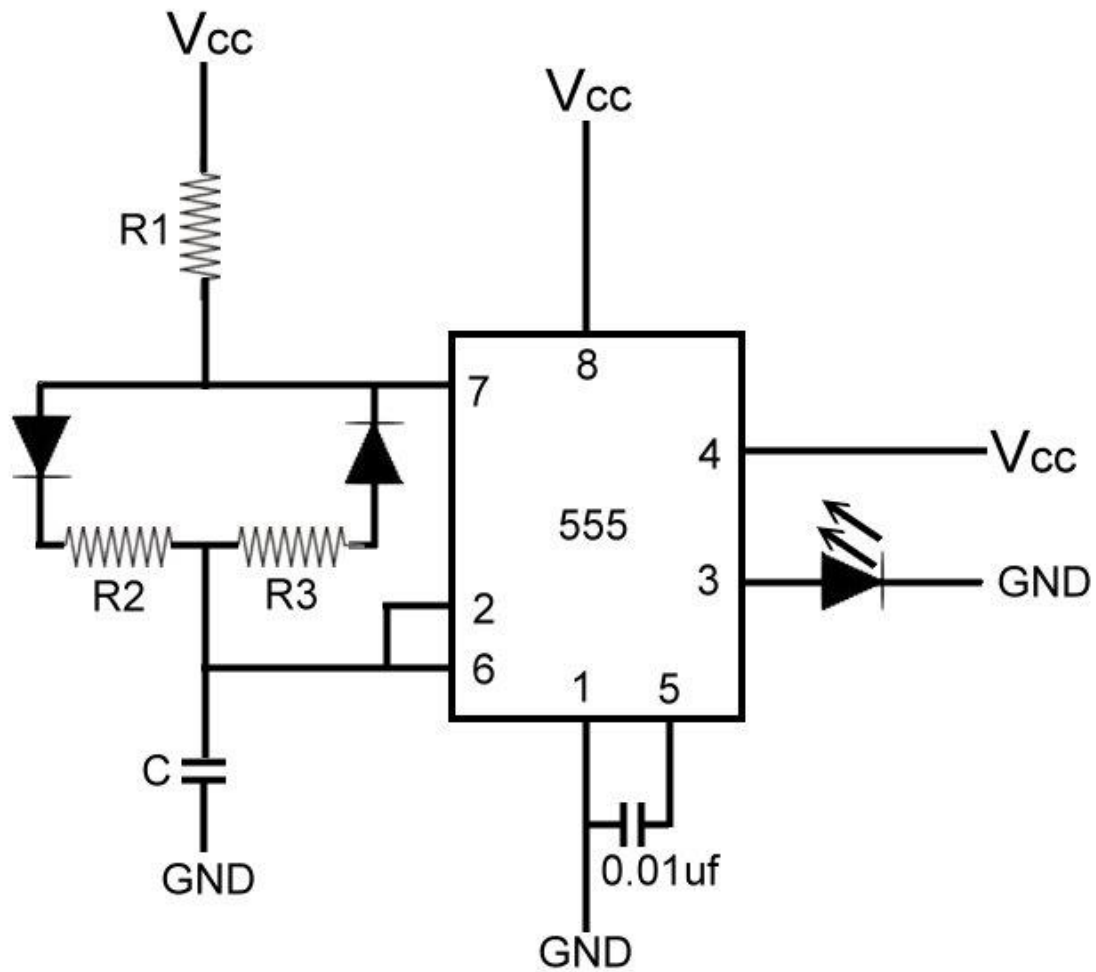
$$T = T_H + T_L = 0.693(R_1 + 2R_2)C$$

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{0.693(R_1 + 2R_2)C} = \frac{1.44}{(R_1 + 2R_2)C}$$

$$\text{Duty cycle} = \frac{T_H}{T_H + T_L} \times 100\%$$



八、 PWM 電路



$$T_H = 0.693(R_1 + R_2)C$$

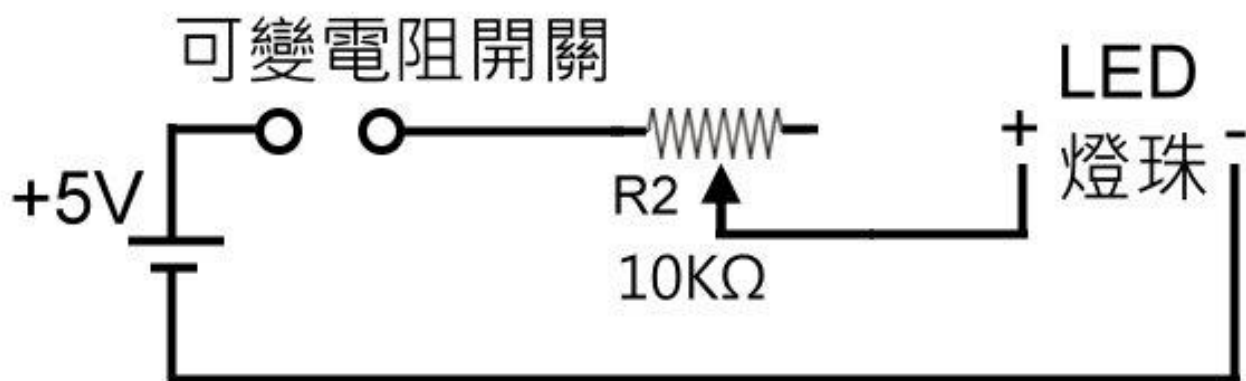
$$T_L = 0.693R_3C$$

$$T = T_H + T_L = 0.693(R_1 + R_2 + R_3)C$$

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{0.693(R_1 + R_2 + R_3)C} = \frac{1.44}{(R_1 + R_2 + R_3)C}$$

$$\begin{aligned} \text{Duty cycle} &= \frac{T_H}{T_H + T_L} \times 100\% \\ &= \frac{0.693(R_1 + R_2)C}{0.693(R_1 + R_2 + R_3)C} \times 100\% \\ &= \frac{R_1 + R_2}{R_1 + R_2 + R_3} \times 100\% \end{aligned}$$

九、利用可變電阻及PWM調整亮度的差別

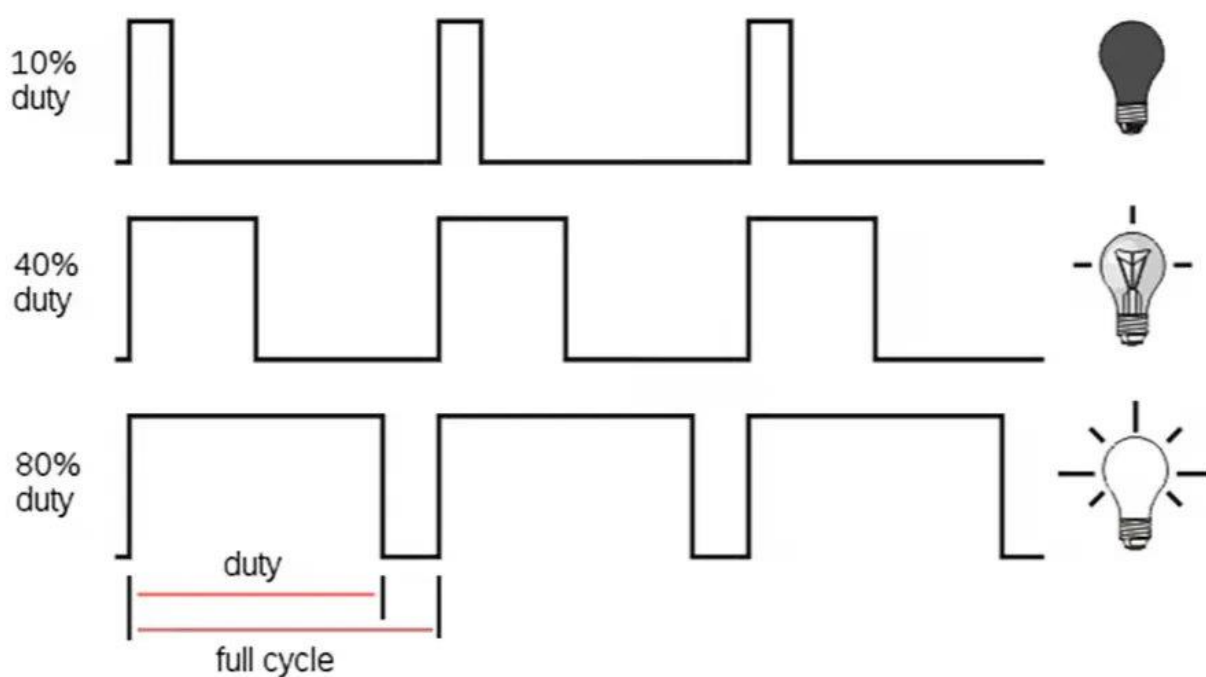


LED是屬於固定電壓，利用可變電阻會造成LED電壓改變，造成LED調整亮度不順暢，LED會有爆亮及爆暗的現象。

定電壓的 LED 可以使用 PWM 調整亮度。

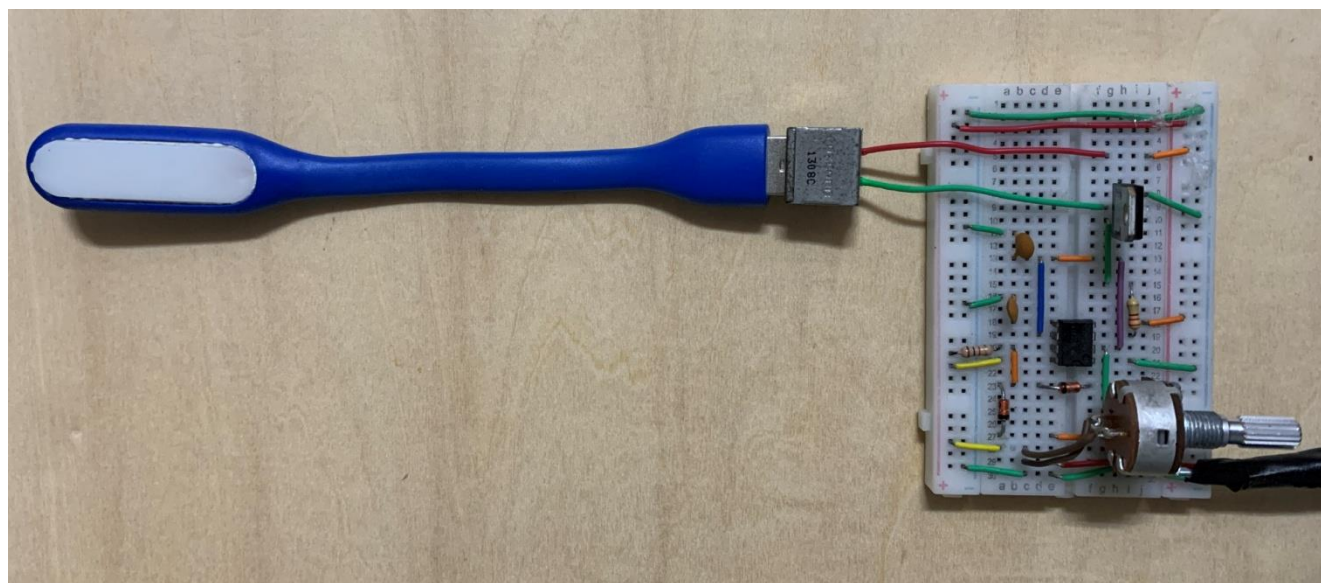
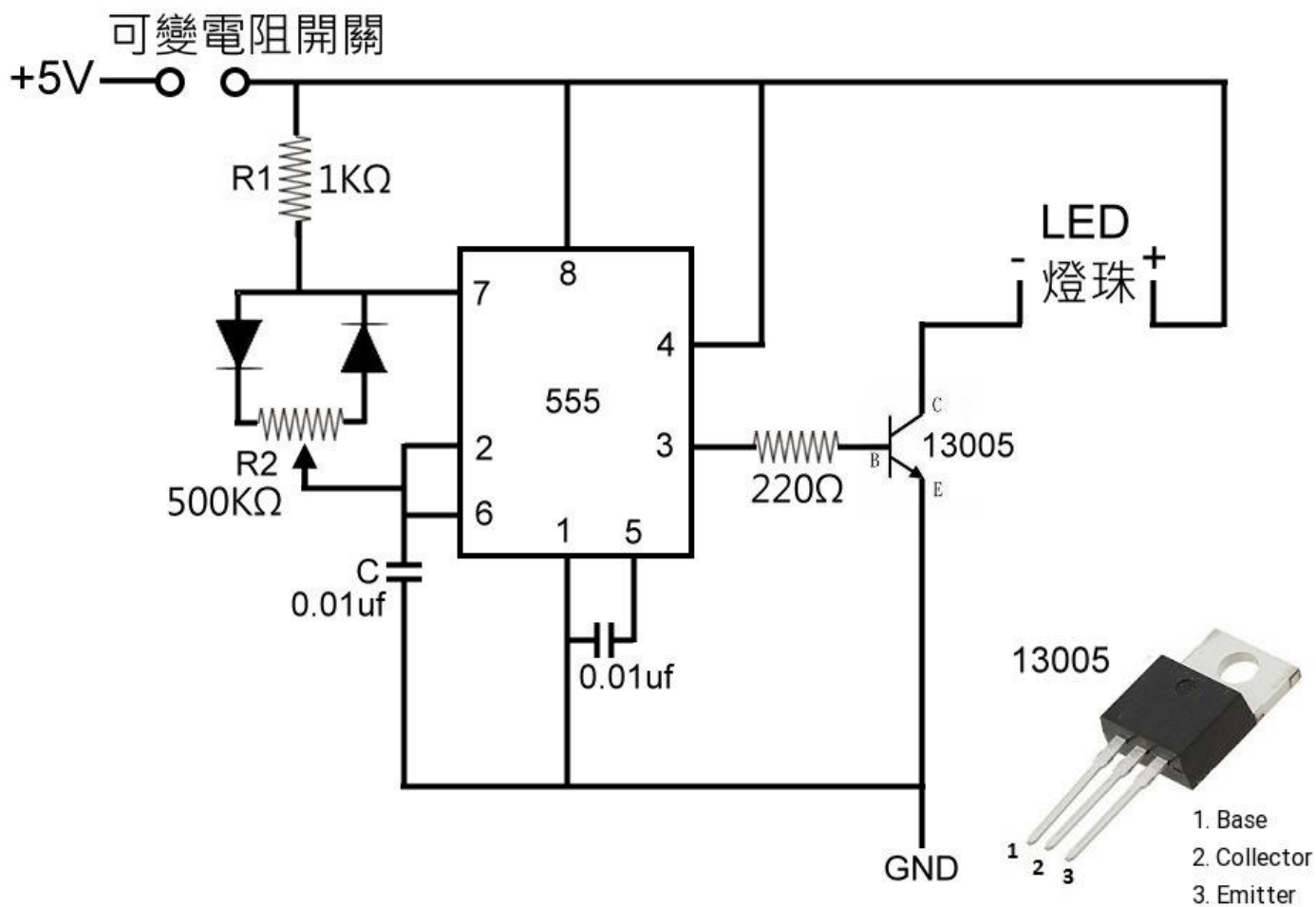
脈衝寬度調變 (PWM)

脈衝的特點是它們的「快速變化」和「短暫的持續時間」

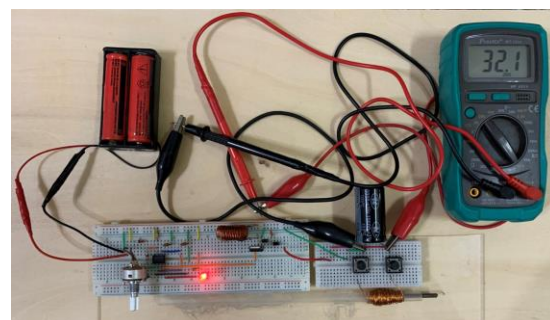
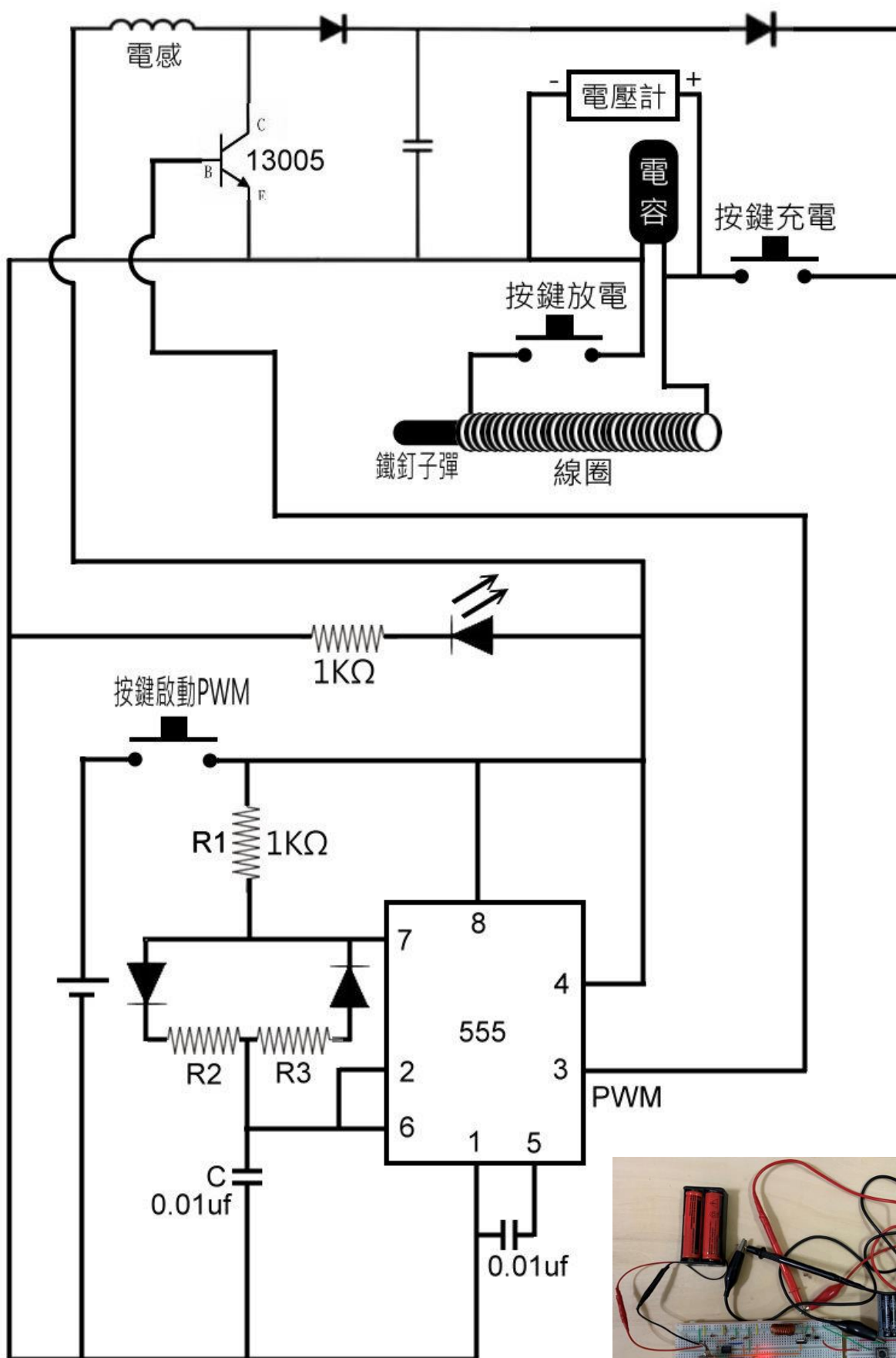


十、利用 PWM 調整 5V LED 亮度

我們加上個整流二極體，讓電容充電放電的時間改變，但電容整體充電放電的時間固定，實現 PWM 現象

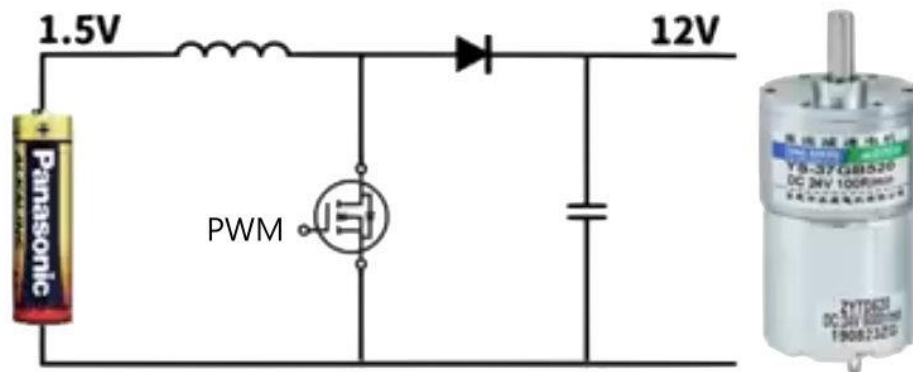


十一、 PWM 、升壓電路與電磁砲電路的組合



伍、研究結果與討論

一、升壓電路造成負載電壓上升，但電流減少



輸入電壓 * 輸入電流 = 輸出電壓 * 輸出電流

1.5V 乾電池最大電流為 2A

$1.5V * 2A = 12V * \text{輸出電流}$

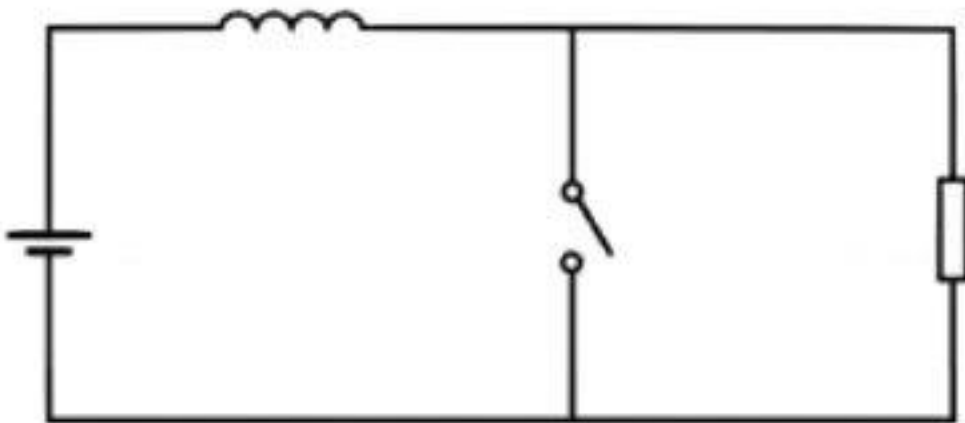
輸出電流 = 0.25A

輸出電流最大為 0.25 安培

此升壓電路會造成負載電流下降

升壓電路只適合電池、電容等充電，不適合馬達、電動工具等。

二、利用開關做升壓電路



電感充飽電後形成短路，造成電流量過大，電池盒燒毀。於是開關用電晶體代替，電晶體在電流過大時會形成開路，避免電流過大。

三、PWM 輸出頻率、Duty cycle與充電快慢的影響？

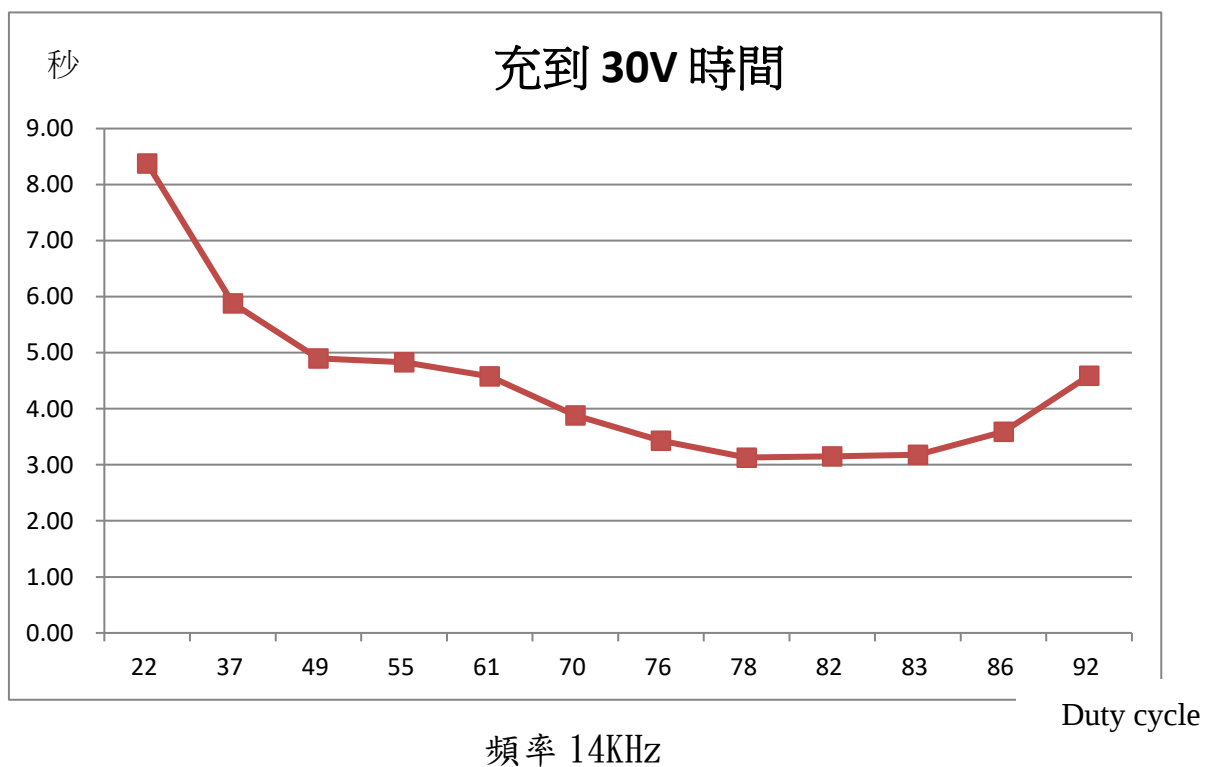
我們用2顆 3.7V 18650 鋰電池，而且隨時持鋰電池充飽電，固定電阻 R_1 為 $1K\Omega$ ，電容C為 $0.01\mu f$ ，電感為電源供應器拆下。改變 R_2 和 R_3 ，將 $10000\mu f$ 35V 電容充飽到 30V，觀察輸出頻率、Duty cycle與充電快慢的關係。

R1(K Ω)	R2(K Ω)	R3(K Ω)	C(uf)	TH(ms)	TL(ms)	頻率(KHz)	Duty cycle	充到 30V 時間(秒)
1	1.50	1.50	0.01	0.0173	0.0104	36.0750	63	3.65
1	4.70	1.00	0.01	0.0395	0.0069	21.5373	85	3.74
1	8.20	1.10	0.01	0.0638	0.0076	14.0097	89	3.74
1	2.20	2.20	0.01	0.0222	0.0152	26.7222	59	3.76
1	22.00	22.00	0.01	0.1594	0.1525	3.2067	51	3.82
1	3.90	1.00	0.01	0.0340	0.0069	24.4577	83	3.84
1	33.00	10.00	0.01	0.2356	0.0693	3.2795	77	3.88
1	5.10	1.00	0.01	0.0423	0.0069	20.3240	86	3.88
1	3.30	1.00	0.01	0.0298	0.0069	27.2264	81	3.94
1	5.10	5.10	0.01	0.0423	0.0353	12.8839	54	4.11
1	3.90	3.90	0.01	0.0340	0.0270	16.3977	56	4.16
1	2.20	1.00	0.01	0.0222	0.0069	34.3572	76	4.21
1	4.70	4.70	0.01	0.0395	0.0326	13.8750	55	4.43
1	3.30	3.30	0.01	0.0298	0.0229	18.9869	57	4.46
1	2.10	0.82	0.01	0.0215	0.0057	36.8113	79	5.10
1	1.50	1.00	0.01	0.0173	0.0069	41.2286	71	5.19
1	39.00	5.10	0.01	0.2772	0.0353	3.1996	89	5.65
1	1.00	1.00	0.01	0.0139	0.0069	48.1000	67	6.09

我們發現，充電速度和頻率、Duty cycle有關，但不同頻率下，Duty cycle和充電速度快慢並沒有一定關係。

我們利用10K Ω 的可變電阻，改變R₂和R₃，將頻率固定在14KHz，Duty cycle和充電速度的關係。

R1(K Ω)	R2(K Ω)	R3(K Ω)	C(uf)	TH(ms)	TL(ms)	頻率(KHz)	Duty cycle	充到 30V 時間(秒)
1	1.266	7.980	0.01	0.0157	0.0553	14.0836	22	8.38
1	2.837	6.420	0.01	0.0266	0.0445	14.0685	37	5.88
1	4.010	5.200	0.01	0.0347	0.0360	14.1332	49	4.90
1	4.700	4.590	0.01	0.0395	0.0318	14.0233	55	4.83
1	5.320	3.970	0.01	0.0438	0.0275	14.0233	61	4.58
1	6.250	3.063	0.01	0.0502	0.0212	13.9921	70	3.88
1	6.830	2.494	0.01	0.0543	0.0173	13.9772	76	3.43
1	7.060	2.282	0.01	0.0559	0.0158	13.9528	78	3.13
1	7.480	1.873	0.01	0.0588	0.0130	13.9380	82	3.15
1	7.560	1.763	0.01	0.0593	0.0122	13.9785	83	3.18
1	7.900	1.415	0.01	0.0617	0.0098	13.9893	86	3.59
1	8.450	0.875	0.01	0.0655	0.0061	13.9758	92	4.59



頻率固定在14KHz，Duty cycle在 78 時，充電速度最快。

由上面實驗得知，在電感固定下，充電速度的快慢取決於頻率、Duty cycle。

陸、參考資料及其它

一、【Fun 科學】超・電磁砲(噴飛的硬幣)

取自：<https://www.youtube.com/watch?v=sKcblMlayts>

二、升壓電路原理 | 5V 電源如何上升到 12V ?

取自：<https://www.youtube.com/watch?app=desktop&v=EhKEqi74yAQ>

三、如何做升壓線路? Tinkercad PMOS Boost 科技專題

取自：<https://www.youtube.com/watch?app=desktop&v=qKecDkfN46M>

四、NE555 振盪器工作原理介紹

取自：<http://eportfolio.lib.ksu.edu.tw/~4960J106/blog?node=000100024>

五、用 555 做的 PWM 調光檯燈

取自：<https://chtseng.wordpress.com/2015/12/31/ac-dimming-docx/>